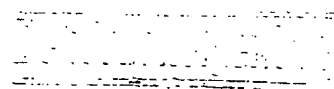




DEUTSCHES  
PATENTAMT

②1 Aktenzeichen: P 37 27 335.3  
②2 Anmeldetag: 17. 8. 87  
④3 Offenlegungstag: 25. 2. 88



DE 3727335 A1

Mit Einverständnis des Anmelders offengelegte Anmeldung gemäß § 31 Abs. 2 Ziffer 1 PatG

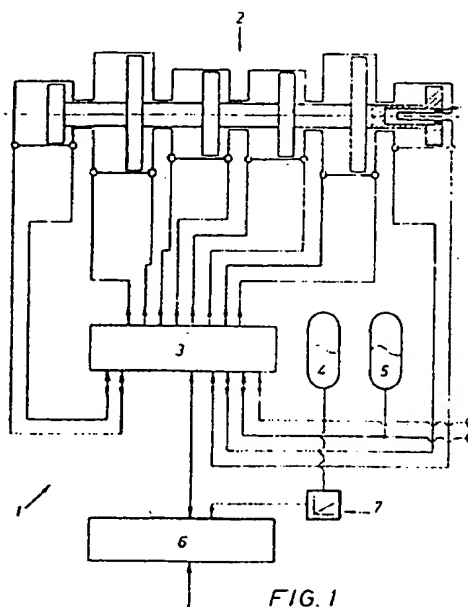
⑦1 Anmelder:  
Bieber, Gerold, Ing.(grad.), 7994 Langenargen, DE

⑦2 Erfinder:  
gleich Anmelder

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Viertakt-Brennkraftmaschine mit Abgasnutzung

Brennkraftmaschine nach dem Prinzip des freischwingenden Stufenkolbens (21), die in den Zylindern (221)-(224) mit einem dieselähnlichen Viertakt-Kreisprozeß (Ansaugen, Verdichten, Brennstoff einspritzen und Expandieren und Überschieben in Expansionszylinder) arbeitet, in den Expansionskolben (225)-(228) die Verbrennungsgase weiter bis nahe Umgebungsdruck entspannt und über Hydraulikzylinder (231)-(234) Verbrennungsenergie direkt in hydraulische Druckenergie umwandelt. Gesteuert wird die Brennkraftmaschine von einer elektronischen Steuerung (6), die über Magnetventile die Einlaßventile, die Überströmventile (25), die Brennstoffeinspritzventile (26), Auslaßventile (27), sowie die Ventile der Hydrauliksteuerung (3) betätigt.



DE 3727335 A1

## Patentansprüche

1. Brennkraftmaschine (1) bestehend aus einem Zylinderblock (2), einer Hydrauliksteuerung (3), einem Hochdruckspeicher (4), einem Niederdruckspeicher (5), einer elektronischen Steuerung (6), einem Drucksensor (7) und einem Wegsensor (8), dadurch gekennzeichnet,

- daß der beweglich in einem Gehäuse (20) angeordnete Stufenkolben (21) mit den inneren Kolben (211) und (212) die gasdichten Zylinder (221)–(224), mit den Kolben (213) und (214) die gasdichten Expansionszylinder (225)–(228) und mit den Hydraulikkolben (215) und (216) die flüssigkeitsdichten Hydraulikzylinder (231)–(234) bildet,
- daß für jeden Zylinder (221)–(224) an seinem Ende mindestens ein Einlaßventil (24), ein Überströmventil (25) und ein Brennstoffeinspritzventil (26) vorhanden sind,
- daß für jeden Expansionszylinder (225)–(228) mindestens ein über den Auspuff mit der Umgebung verbundenes Auslaßventil (27) vorhanden ist,
- daß die Einlaßventile (24) die Zylinder (221)–(224) über ein Luftfilter mit der Umgebung verbinden,
- daß durch die Überströmventile (25) zwischen den Zylindern (221)–(224) und den Expansionszylindern (225)–(228) folgende oder ähnliche Verbindungen bestehen:

Zyl. (221) über Luftkanal (201) in Exp.zyl. (226) u. (228)  
 Zyl. (222) über Luftkanal (202) in Exp.zyl. (225) u. (227)  
 Zyl. (223) über Luftkanal (201) in Exp.zyl. (226) u. (228)  
 Zyl. (224) über Luftkanal (202) in Exp.zyl. (225) u. (227)

- daß die Wirkfläche der Expansionszylinder (225) und (227) oder (226) und (228) wesentlich größer sind, wie die Wirkflächen eines der Zylinder (221)–(224), sodaß nach Abschluß der Zusatzexpansion nur ein kleiner Überdruck zur Umgebung in den Expansionszylindern (225)–(228) besteht,
- daß die elektronische Steuerung (6) über Magnetventile die Einspritzventile (24), Überströmventile (25), Brennstoffeinspritzventile (26) und Auslaßventile (27) betätigt, sodaß bei jedem Hub des Stufenkolbens (21) in den Zylindern (221)–(224) ein viertakt-diesel-ähnlicher Prozeß (Ansaugen, Verdichten, Brennstoffeinspritzen, Expandieren und Überschieben in Expansionszylinder) abläuft, in den Expansionszylindern (225)–(228) die Verbrennungsgase aus den Zylindern (221)–(224) bis nahe Umgebungsdruck expandiert, im nächsten Hub ausgeschoben und kurz vor Hubende durch Schließen der Auslaßventile (27) wieder verdichtet werden, damit weitgehend Druckgleichheit zu den Zylindern (221)–(224) beim Öffnen der Überströmventile (25) herrscht,
- daß die elektronische Steuerung (6) die Hydrauliksteuerung (3) steuert, sodaß über die Hydraulikzylinder (231)–(234) die Verbrennungsenergie direkt in Hydraulikenergie umgewandelt wird,
- daß die Wirkflächen der Hydraulikzylinder (231) und (232) bzw. (233) und (234) so bemessen sind, daß der Stufenkolben (21) nach ca. einem Drittel seines Hubes, wenn Gleichgewicht zwischen den auf die Zylinder (221)–(224) und die Expansionszylinder (225)–(228) wirkenden Gasdrücken und den auf die Hydraulikzylinder (231)–(234) wirkenden Öldrücken aus Hochdruckspeicher (4) und Niederdruckspeicher (5) herrscht, stehen bleibt, und daß nach Verbinden aller Hydraulikzylinder (231)–(234) mit dem Niederdruckspeicher (5) durch das 2/2-Wege-Magnetventil (36) die in den Zylindern (221)–(224) und Expansionszylindern (225)–(228) vorhandenen Gasdrücke den Stufenkolben (21) in seinen Umkehrpunkt oder in dessen Nähe treibt,
- daß durch Betätigen des 3/2-Wege-Magnetventils (32) oder (33) die Hydraulikzylinder (233) oder (231) mit dem Niederdruckspeicher (5) verbunden werden, sodaß beim Betätigen des 4/3-Wege-Magnetventils (31) entweder der Hydraulikzylinder (234) oder (232) mit Drucköl aus dem Hochdruckspeicher (4) beaufschlagt wird und dadurch eine wesentlich höhere Kraft vom Stufenkolben (21) zum zusätzlichen Verdichten der angesaugten Luft aufgebracht wird.

2. Brennkraftmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zum Ausgleich der während eines Stufenkolbenhubes unterschiedlich anfallenden Ölmengen und zum Betrieb der Brennkraftmaschine ein Hochdruckspeicher (4) und ein Niederdruckspeicher (5) verwendet wird.

3. Brennkraftmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Drucksensor (7) den Druck im Hochdruckspeicher (4) und der Wegsensor (8) die Stellung des Stufenkolbens (21) als elektrisches Signal in die elektronische Steuerung (6) eingibt.

4. Brennkraftmaschine nach Anspruch 1–2, dadurch gekennzeichnet, daß die Einlaßventile (24), Überströmventile (25), Brennstoffeinspritzventile (26), Auslaßventile (27), ihre zugehörigen Magnetventile und sonstigen zum Steuern der Brennkraftmaschine nötigen Ventile vom Hochdruckspeicher (4) mit Drucköl versorgt werden.

5. Brennkraftmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Einlaßventile (24), Überströmventile (25) und Auslaßventile (27) den gleichen Aufbau gemäß Fig. 5 haben können und daß zwei Einlaßventile (24) und zwei Überströmventile (25) je Zylinder (221)–(224) bzw. zwei oder drei Auslaßventile (27) je Expansionszylinder (225)–(228) angeordnet werden.

6. Brennkraftmaschine nach Anspruch 1–5, dadurch gekennzeichnet, daß über die elektronische Steuerung (6) der Beginn und die Dauer der Brennstoffzufuhr abhängig z. B. vom Weg des Stufenkolbens (21), dem Druck im Hochdruckspeicher (4), der Umgebungstemperatur, über die Magnetventile auf die Brennstoffeinspritzventile (26) gesteuert wird.

7. Brennkraftmaschine nach Anspruch 1—6, dadurch gekennzeichnet, daß ihre Leistung von der elektronischen Steuerung (6) durch

- Änderung der Brennstoffeinspritzmenge bzw. -dauer,
- kurzzeitiges Verzögern der Betätigung des 2/2-Wege-Magnetventils (36) im Umschaltpunkt,
- Abschalten bei gefülltem Hochdruckspeicher (4) und Starten bei einem Mindestdruck des Hochdruckspeichers, geregelt werden kann.

8. Brennkraftmaschine nach Anspruch 1—7, dadurch gekennzeichnet, daß sie mit dem noch im Hochdruckspeicher (4) vorhandenen Druck ohne zusätzliche Einrichtungen gestartet werden kann.

9. Brennkraftmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß für jeden Zylinder (221)—(224) eine Glühkerze angeordnet werden kann.

10. Brennkraftmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß für jeden Zylinder (221)—(224) oder Expansionszylinder (225)—(228) ein Wassereinspritzventil, ähnlich dem in Fig. 8 dargestellten Brennstoffeinspritzventil (26) vorgesehen werden kann.

11. Brennkraftmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß wärmekritische Bauteile wie Kolben (211)—(214), Luftkanäle (201) und (202), Überströmventile (25), Auslaßventile (27) usw. aus Keramik gefertigt werden.

12. Brennkraftmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Stufenkolben (21) baulich aufgelöst sein kann (z. B. die Hydraulikzylinder parallel angeordnet).

13. Brennkraftmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Expansionszylinder (225)—(228) aus zwei auf einer Seite des Stufenkolbens (21) angeordneten Zylindern ausgeführt sein können.

14. Brennkraftmaschine nach Anspruch 1—13, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Stufenkolben (21) parallel angeordnet und gegenläufig betrieben werden können.

15. Brennkraftmaschine nach Anspruch 1—14, dadurch gekennzeichnet, daß anstelle des Hochdruckspeichers (4) und Niederdruckspeichers (5) die Hydraulikzylinder (231)—(234) in ein Hydrauliksystem fördern können.

16. Brennkraftmaschine nach Anspruch 1—15, dadurch gekennzeichnet, daß vom Stufenkolben (21) Geräte wie elektrische Generatoren, Luftkompressoren usw. angetrieben werden können.

#### Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Viertakt-Brennkraftmaschine bestehend aus einem symmetrischen freischwingenden Stufenkolben mit sechs Kolbenstufen, der beweglich in zylindrischen Kammern angeordnet ist, nach dem Oberbegriff von Anspruch 1.

Bei bekannten Brennkraftmaschinen mit freischwingendem Stufenkolben wurde das Zweitakt-Otto-Verfahren gewählt, um einen möglichst einfachen Aufbau zu erhalten. Eine derartige Anordnung ist aus der DE-OS 30 29 287 bekannt. Das Viertakt-Verfahren z. B. nach Diesel würde jedoch wesentlich bessere Wirkungsgrade ermöglichen. Die Umwandlung der Verbrennungsenergie in mechanische, hydraulische, pneumatische oder elektrische Energie ist bisher nicht befriedigend gelöst.

Brennkraftmaschinen mit freischwingendem Stufenkolben, die prinzipiell einen sehr einfachen Aufbau haben, konnten sich bisher, bis auf wenige Spezialanwendungen z. B. Preßluftschlämmer, gegenüber den Brennkraftmaschinen mit Pleuellwelle aus folgenden wesentlichen Gründen nicht durchsetzen:

- Der Stufenkolben hat im Verhältnis zu den durch die Verbrennung entstehenden Kräften eine kleine Masse und beschleunigt deshalb sehr stark. Damit ergeben sich hohe Kolbengeschwindigkeiten und damit auch hohe Hubfrequenzen, wodurch die Steuerung einer solchen Brennkraftmaschine äußerst schwierig wird. Die Pleuellmaschine hat durch die Pleuellmasse auf der Pleuellwelle ein sehr einfaches und relativ leichtes Dämpfungs-, Glättungs- und Verlangsamungsmittel.
- Die Steuerung von Ein- und Auslaßventilen sowie der Brennstoffeinspritzung war bei den hohen Hubfrequenzen bisher nicht möglich. Deshalb wurden Zweitaktverfahren gewählt, um mit Pleuellsteuerungen auszukommen.

Nachteilig für die Brennkraftmaschine mit Pleuellwelle sind folgende Punkte, die trotz ihrer langen Entwicklungszeit systembedingt nicht beseitigt werden konnten:

- Schlechter Wirkungsgrad durch hohe Reibung und unvollständige Expansion der Verbrennungsgase, die auch durch zusätzliche Einrichtungen in der Pleuellanlage z. B. Pleuellaufladung nicht wesentlich verbessert werden konnten.
- Wirkungsgrad nur innerhalb enger Drehzahlgrenzen und guter Auslastung akzeptabel.
- Durch den Pleuellantrieb festgelegte Werte für Verdichtungsverhältnis, Öffnungs- bzw. Schließzeiten der Einlaß- und Auslaßventile bzw. Brennstoffeinspritzbeginn oder -ende usw.
- Ungleichförmiger Drehmomentverlauf durch die endliche Zahl der Pleuell und den Pleuelltrieb.
- Energie steht nur als Drehmoment innerhalb enger Drehzahlgrenzen zur Verfügung und muß mittels umfangreicher Umwandlungsgetriebe in die benötigte Form gebracht werden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde eine Brennkraftmaschine zu schaffen, die nach dem Viertakt-Diesel-Verfahren arbeitet, die noch vorhandene Abgasenergie in zusätzlichen Expansionszylindern nutzt und eine

einfache Möglichkeit schafft, die Verbrennungsenergie mit gutem Wirkungsgrad, geringen Emissionen und Immissionen direkt in Hydraulikenergie umzuwandeln. Pneumatische oder elektrische Energie kann ähnlich erzeugt werden.

Die vorgeschlagene Brennkraftmaschine eignet sich besonders gut zur hydraulischen Druckversorgung bei einem möglichst konstanten Systemdruck, wie er vor allem für Arbeitsstationen, für Fahrzeuge mit hybriden Antriebssystemen und instationärem Betrieb, für fahrbare Arbeitsmaschinen, oder zum Laden von Hydraulikspeichern vorkommt.

Die vorgeschlagene Brennkraftmaschine hat einen sehr guten thermischen Wirkungsgrad, fast keine mechanischen Verluste, sehr gute Emissions- und Immissionswerte und einen guten hydraulischen Umwandlungswirkungsgrad.

Dadurch könnte eine Kühlung der Brennkraftmaschine unnötig werden, insbesondere wenn kritische Bauteile aus Keramik gefertigt würden.

Im Folgenden wird die Brennkraftmaschine anhand von Zeichnungen und Diagrammen erläutert. Es zeigen

Fig. 1 ein Gesamtschema der erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine.

Fig. 2 einen Schnitt durch den Zylinderblock (20) auf dem die gesamte Abgasführung dargestellt ist.

Fig. 3 ein Hydraulikschema, das die zur Energieumwandlung nötigen Ventile zeigt, ohne die zur Steuerung der Einlaß-, Überström-, Auslaß- und Brennstoffeinspritzventile nötigen Magnetventile.

Fig. 4 zwei Diagramme, deren Abszissen den Stufenkolbenweg und deren Ordinaten die Drücke in den Zylindern und in den Expansionszylindern sowie die Stufenkolbengeschwindigkeit für den Startvorgang darstellen.

Fig. 5 einen Schnitt durch ein Einlaß-, oder Überström-, oder Auslaßventil.

Fig. 6 einen Schnitt quer durch den Zylinder (221) in Richtung der Einlaß-, Überström- und Brennstoffeinspritzventile.

Fig. 7 die gleichen Diagramme wie in Fig. 4 für das Laden des Hochdruckspeichers von z. B. 270 auf 320 bar.

Fig. 8 einen Schnitt durch ein Brennstoffeinspritzventil,

Fig. 9 ein Diagramm dessen Abszisse den Stufenkolbenweg und dessen Ordinate die Temperatur in einem Zylinder während eines Prozeßdurchlaufes zeigt.

Die Brennkraftmaschine (1) besteht im Prinzip aus

- einem Zylinderblock (2) mit den Viertakt-Diesel-Prozeß-Zylindern, den Expansionszylindern und den Hydraulikzylindern,
- einer Hydrauliksteuerung (3) zur Betätigung der Einlaß-, Überström-, Auslaß- und Brennstoffeinspritzventile, sowie der Einrichtungen zum Steuern der Umwandlung der Verbrennungsenergie in Hydraulikenergie,
- einem Hochdruckspeicher (4) und einem Niederdruckspeicher (5) zum Ausgleich der unterschiedlich anfallenden Ölmengen und zur Druckversorgung der Hydrauliksteuerung,
- einer elektronischen Steuerung (6) zur Steuerung der gesamten Abläufe der Brennkraftmaschine,
- einem Drucksensor (7) zum Messen des Systemdruckes bzw. des Druckes im Hochdruckspeicher,
- einem Wegsensor (8) zum Messen der Stellung des Stufenkolbens,

sowie aus den nötigen hydraulischen und elektrischen Leitungen zum Verbinden der einzelnen Funktionsbausteine.

Der Zylinderblock (2) besteht aus einem Gehäuse (20), indem ein Stufenkolben (21) gleitet, durch dessen Bewegung acht veränderbare gasdichte Räume (221)–(228) und vier flüssigkeitsdichte Räume (231)–(234) entstehen, in der weiteren Beschreibung Zylinder genannt.

Wie in der Fig. 2 dargestellt, bilden die inneren Kolben (211) und (212) durch die Bewegung des Stufenkolbens (21) die Zylinder (221)–(224) in denen der eigentliche Viertakt-Diesel-Prozeß stattfindet. Jeder dieser Zylinder besitzt an seinem Ende mindestens ein Einlaßventil (24), ein Überströmventil (25) und ein Brennstoffeinspritzventil (26).

Eine beispielhafte Ausführung für ein Einlaßventil (24), ein Überströmventil (25) oder ein Auslaßventil (27) zeigt Fig. 5. Ein mögliches Brennstoffeinspritzventil (26) zeigt Fig. 8.

Die Fig. 6 zeigt einen Schnitt quer durch den Zylinder (221) mit einer möglichen Anordnung der Einlaßventile (24), der Überströmventile (25) und der Brennstoffeinspritzventile (26).

Die Kolben (213) und (214) bilden durch die Bewegung des Stufenkolbens (21) die Expansionszylinder (225)–(228), in denen die weitere Expansion der Verbrennungsgase des Viertakt-Diesel-Prozesses stattfindet. Jeder dieser Expansionszylinder besitzt an seinem Ende eine Verbindung zum Luftkanal (201) oder (202) und mindestens ein Auslaßventil (27) zum Auspuff. Zwischen den Zylindern und den Expansionszylindern bestehen über die Überströmventile (25) und die Luftkanäle folgende Verbindungen:

- Zyl. (221) über Luftkanal (201) in Exp.zyl. (226) und (228)
- Zyl. (222) über Luftkanal (202) in Exp.zyl. (225) und (227)
- Zyl. (223) über Luftkanal (201) in Exp.zyl. (226) und (228)
- Zyl. (224) über Luftkanal (202) in Exp.zyl. (225) und (227)

Das Betätigen der Einlaß-, Überström-, Auslaß- und Brennstoffeinspritzventile erfolgt mit dem Drucköl aus dem Hochdruckspeicher (4) und wird von Magnetventilen (37) gesteuert. Der zeitlich richtige Ablauf des Öffnens und Schließens der Einlaß-, Überström- und Auslaßventile, sowie der Brennstoffeinspritzventile wird von der elektronischen Steuerung (6) veranlaßt, die auch für die Hydrauliksteuerung (3) zur Umwandlung der Verbren-

nungsenergie in Hydraulikenergie zuständig ist. In die elektr. Steuerung (6) gehen als Signale der Weg des Stufenkolbens (21) und der Druck im Hochdruckspeicher (4) ein, die mittels geeigneter Sensoren gemessen werden.

Im Folgenden wird anhand der Fig. 1—9 die Funktion (Start und Betreiben) der vorgeschlagenen Brennkraftmaschine beispielhaft beschrieben.

Um die Brennkraftmaschine starten zu können muß der Hochdruckspeicher (4) einen Mindestdruck (z. B. 270 bar) haben. Steht der Stufenkolben (21) nicht nahe einer seiner Endstellungen, veranlaßt die elektronische Steuerung (6), daß die nächstgelegene Startposition über die Hydraulikzylinder angefahren wird. Hierbei sind Einlaß-, Überström- und Auslaßventile geöffnet. Die Brennstoffeinspritzventile bleiben geschlossen.

Steht der Stufenkolben beispielsweise, wie in Fig. 3 dargestellt, in seinem rechten gedachten Umkehrpunkt, so fließt nach Betätigen des rechten Magneten des 4/3-Wege-Magnetventils (31) Drucköl aus dem Hochdruckspeicher (4) in den Hydraulikzylinder (232) und über das unbetätigte 3/2-Wege-Magnetventil (33) auch in den Hydraulikzylinder (231). Da die Wirkfläche des Hydraulikzylinders (231) kleiner wie die des Hydraulikzylinders (232) ist, bewegt sich der Stufenkolben nach links. Die Kraft, durch die sich der Stufenkolben bewegt, läßt sich aus der Beziehung

$$(\text{Fläche Hyd.zyl. (232)} - \text{Fläche Hyd.zyl. (231)}) \cdot \text{Systemdruck}$$

berechnen. Gleiche Beziehungen bestehen auch für die Hydraulikzylinder (233) und (234). Das 2/2-Wege-Magnetventil (36) sperrt in seiner Ruhestellung die Hydraulikzylinder (231) und (232) von den Hydraulikzylindern (233) und (234) ab. Die Sperrventile (34) und (35) sperren den Hochdruckkreis vom Niederdruckkreis ab. Durch den sich nach links bewegenden Stufenkolben wird das Hydrauliköl aus den Hydraulikzylindern (233) und (234) über das 3/2-Wege-Magnetventil (32) und das 4/3-Wege-Magnetventil (31) in den Niederdruckspeicher (5) gedrückt.

Gleichzeitig werden die Magnetventile der Einlaß-, Überström-, Auslaß- und Brennstoffeinspritzventile wie folgt geschaltet:

	Zylinder								
	221	222	223	224	225	226	227	228	
Ventile									
Einlaß	zu	auf	zu	auf	—	—	—	—	
Überstr.	zu	zu	auf	zu	—	—	—	—	
Auslaß	—	—	—	—	auf	auf	auf	auf	
Brennst.	zu	zu	zu	zu	—	—	—	—	

Durch die Bewegung des Stufenkolbens nach links wird die im Zylinder (221) eingeschlossene Luft verdichtet. In den restlichen Zylindern wird nur Luft angesaugt oder ausgeschoben.

Die Stufenkolbengeschwindigkeit (siehe Fig. 4) ist eine Funktion aus Hydraulikdruck, Durchflußwiderständen des Hydrauliköles, Masse des Stufenkolbens, Gasdrücken in den Zylindern usw. Bleibt der Stufenkolben wegen zu hoher Gasdrücke in den Zylindern oder zu geringem Hydraulikdruck stehen, ohne daß die in der elektronischen Steuerung (6) festgelegte minimale linke Position erreicht ist, die eine sichere Zündung und Verbrennung des eingespritzten Brennstoffes gewährleistet, wird dies über den Wegsensor (8) erkannt und das 3/2-Wege-Magnetventil (33) betätigt, das den Hydraulikzylinder (231) mit dem Niederdruckkreis verbindet. Jetzt wirkt die gesamte Fläche des Hydraulikzylinders (232) und der Stufenkolben kann wesentlich höhere Gasdrücke erzeugen. Dadurch bewegt sich der Stufenkolben weiter nach links.

Erkennt die elektronische Steuerung (6) über den Wegsensor (8), daß die Brennstoffeinspritzposition erreicht ist, veranlaßt sie folgende Steuerbefehle:

	Zylinder								
	221	222	223	224	225	226	227	228	
Ventile									
Einlaß	zu	zu	auf	zu	—	—	—	—	
Überstr.	zu	zu	zu	auf	—	—	—	—	
Auslaß	—	—	—	—	auf	auf	auf	auf	
Brennst.	auf	zu	zu	zu	—	—	—	—	

Das 4/3-Wege-Magnetventil (31) geht in Mittelstellung.  
Das 3/2-Wege-Magnetventil (33) geht in Ruhestellung.

Es wird Brennstoff in den Zylinder (221) eingespritzt, der in der durch die Verdichtung erhitzten Luft verbrennt. Dadurch steigt der Druck im Zylinder (221) stark an. Der Stufenkolben (21) kommt zum Stehen und

wird anschließend nach rechts beschleunigt. Der Druck in den Hydraulikzylindern (231) und (232) steigt über den Druck im Hochdruckspeicher (4) und das Drucköl fließt über das Sperrventil (39) in den Hochdruckspeicher (4). Für die Hydraulikzylinder (233) und (234) fließt das erforderliche Drucköl über das Sperrventil (34) aus dem Niederdruckspeicher (5) zu. Im Zylinder (222) wird die angesaugte Frischluft verdichtet. In den übrigen Zylindern wird nur Luft angesaugt oder ausgeschoben.

Die Dauer der Brennstoffeinspritzung und damit auch die Brennstoffmenge wird von der elektronischen Steuerung (6) über die Öffnungszeit des nicht dargestellten Magnetventiles der Brennstoffeinspritzventile (26) des Zylinders (221) bestimmt. Hierzu können eine Reihe von Daten berücksichtigt werden, wie Geschwindigkeit und Position des Stufenkolbens, Druck im Hochdruckspeicher (4), Umgebungstemperatur usw.

Der Stufenkolben bleibt stehen, wenn zwischen den Kräften aus den Zylindern (221–224), aus den Expansionszylindern (225–228) und den Kräften aus den Hydraulikzylindern (231–234) Gleichgewicht herrscht. Wird der Stillstand des Stufenkolbens von der elektr. Steuerung (6) erkannt, wird das 2/2-Wege-Magnetventil (36) geschaltet.

Durch das Umschalten des 2/2-Wege-Magnetventils (36) sind alle Hydraulikzylinder (231)–(234) miteinander verbunden. Dadurch werden die Kräfte aus den Hydraulikzylindern wesentlich reduziert, da nur noch die Durchströmlverluste überwunden werden müssen. Der Stufenkolben (21) beschleunigt wieder nach rechts. Dieser Bewegung des Stufenkolbens wirkt vor allem der Verdichtungsdruck im Zylinder (222) und der Widerstand des zu bewegendes Hydrauliköls entgegen.

Aus der Auslegung der Brennkraftmaschine kann der voraussichtliche Expansionsdruck im Zylinder (221) am Hubende von der elektronischen Steuerung (6) errechnet werden und damit auch nach welchem Stufenkolbenweg die Auslaßventile (27) der Expansionszylinder (226) und (228) schließen müssen, damit am Umkehrpunkt der Druck im Zylinder (221) und der Druck in den Expansionszylindern (226) und (228) und im Luftkanal (201) annähernd gleich sind. Wird dieser in der elektr. Steuerung (6) gespeicherte Punkt erreicht, werden die Auslaßventile (27) in den Expansionszylindern (226) und (228) geschlossen und die im Luftkanal (201) und in den Expansionszylindern (226) und (228) befindliche Luft verdichtet. Die Ansprechzeiten der Magnetventile und der Einlaß-, Überström-, Brennstoffeinspritz- und Auslaßventile können von der elektr. Steuerung (6) berücksichtigt werden.

Durch das Verdichten der Luft in den Expansionszylindern kurz vor dem Umkehrpunkt können die Druckverluste beim Öffnen der Überströmventile (25) im Umkehrpunkt gering gehalten werden, wenn der Zylinder (221) über seine Überströmventile (25) mit dem Luftkanal (201) und den Expansionszylindern (226) und (228) verbunden wird. Dadurch wird die in den Verbrennungsgasen enthaltene Energie besonders gut ausgenutzt und die Entstehung von Geräuschen durch die kleinen Druckausgleichsgradienten vermindert.

Die Brennkraftmaschine ist so ausgelegt, daß der im Umschaltzeitpunkt noch vorhandene Druck der Verbrennungsgase im Zylinder (221) den Stufenkolben gegen den Verdichtungsdruck im Zylinder (222) und in den Expansionszylindern (226) und (228), sowie den sonstigen Widerständen in seinen vorbestimmten rechten Umkehrpunkt treibt.

Bleibt der Stufenkolben (21) trotzdem vor diesem Umkehrpunkt stehen, so reicht der Verdichtungsdruck im Zylinder (222) nicht aus, um eine zuverlässige Verbrennung des eingespritzten Brennstoffes sicherzustellen. Die elektr. Steuerung (6) veranlaßt nun, daß das 3/2-Wege-Magnetventil (32) und der linke Magnet des 4/3-Wege-Magnetventils (31) betätigt wird. Dadurch fließt Hydrauliköl aus dem Hochdruckspeicher (4) in den Hydraulikzylinder (234), während die restlichen Hydraulikzylinder mit dem Niederdruckspeicher (5) verbunden sind. Der Stufenkolben bewegt sich bis zu seinem Umkehrpunkt und es wird, wie vorher beschrieben, Brennstoff in den Zylinder (222) eingespritzt.

Am Umkehrpunkt werden die Magnetventile der Einlaß-, Überström-, Brennstoffeinspritz- und Auslaßventile wie folgt geschaltet.

	Zylinder							
	221	222	223	224	225	226	227	228
Ventile								
Einlaß	zu	zu	auf	zu	–	–	–	–
Überstr.	auf	zu	zu	auf	–	–	–	–
Auslaß	–	–	–	–	auf	zu	auf	zu
Brennst.	zu	auf	zu	zu	–	–	–	–

Das 2/2-Wegeventil (36) geht in Ruhestellung.

Wurde der Umkehrpunkt nur mit Hilfe des Hochdruckspeichers erreicht, so geht das 4/3-Wege-Magnetventil (31) in Mittelstellung und das 3/2-Wege-Magnetventil (32) geht in Ruhestellung.

Der Stufenkolben (21) bewegt sich wieder nach links. Dadurch wird die noch im Zylinder (221) befindliche Verbrennungsluft mit ca. 4 bar Druck in die Expansionszylinder (226) und (228) geschoben, wo sie weiter expandieren kann. Die Expansionszylinder sind so ausgelegt, daß die Verbrennungsgase am Ende des Stufenkolbenhubes bis in die Nähe des Umgebungsdruckes expandieren können. Dadurch kann auch am Auspuff der Druckausgleichsgradient zur Umgebungsluft klein gehalten werden und damit auch die Auspuffgeräusche. Dieser Vorgang ist aus Fig. 4 gut zu erkennen.

Im Zylinder (222) erfolgt die Einspritzung des Brennstoffes und die Expansion, im Zylinder (223) wird die

angesaugte Luft verdichtet, und im Zylinder (224) wird Frischluft angesaugt. Die Expansionszylinder (225) und (227) schieben Luft in den Auspuff.

Die Hydraulikzylinder (233) und (234) pressen bis zum Umschaltpunkt über das Sperrventil (38) Drucköl in den Hochdruckspeicher (4), um dann über das 2/2-Wege-Magnetventil (36), wie die Hydraulikzylinder (231) und (232), mit dem Niederdruckspeicher (5) verbunden zu werden. Es folgt dann, falls erforderlich, die schon beschriebene Zusatzverdichtung. Damit ist der dritte Hub abgeschlossen.

Der weitere Ablauf ist auf dem in Fig. 4 dargestellten Diagramm ersichtlich. Es zeigt den Ablauf des Gaswechsels der Brennkraftmaschine für den Viertakt-Diesel-Prozeß und die Zweitakt-Zusatzexpansion. Auf der Ordinate ist der Weg des Stufenkolbens (21) dargestellt. Auf dem oberen Teil des Diagrammes sind auf der Abszisse beispielhaft die Drücke im Zylinder (221) während der ersten drei Hübe nach dem Start als dicke Linie (511) bis (515) dargestellt, während die Linie (501) die Drücke im Zylinder (222) und die gestrichelte Linie (521) bis (525) die Drücke in den Expansionszylindern (226) und (228) darstellt. Im unteren Teil des Diagrammes ist auf der Abszisse die Geschwindigkeit des Stufenkolbens (21) über seinem Weg aufgetragen. Bewegung nach links bedeutet positive und nach rechts negative Geschwindigkeit. Im Einzelnen bedeuten:

- (511)–(513) Verdichten der Luft im Zylinder (221). 15
- (512)–(513) Zusatzverdichten der Luft im Zylinder (221), wenn erforderlich.
- (513)–(514) Brennstoffeinspritzen und -verbrennen im Zylinder (221).
- (514)–(515) Expandieren der Verbrennungsluft im Zyl. (221).
- (515)–(516) Öffnen der Überströmventile (25) zwischen Zylinder (221) und Expansionszylindern (226) und (228) und Ausschieben der Verbrennungsluft in die Expansionszylinder (siehe Linie (520)–(521)). 20
- (516)–(511) Ansaugen von Frischluft in den Zylinder (221).

Damit ist der Viertakt-Diesel-Prozeß im Zylinder (221) abgeschlossen. In den restlichen Zylindern läuft entsprechend hubversetzt der gleiche Prozeß ab (dünne Linie (501)). 25

- (520)–(521) Nach dem Öffnen der Überströmventile (25) expandiert die Verbrennungsluft des Zylinders (221) in den Expansionszylindern (226) und (228) bis nahe Umgebungsdruck.
- (521)–(522) Ausschieben der Verbrennungsluft der Expansionszylinder (226) und (228) in den Auspuff.
- (522)–(523) Verdichten der Abgase in den Expansionszylindern (226) und (228) und im Luftkanal (201). 30

Damit ist die Zweitakt-Zusatzexpansion der Expansionszylinder (226) und (228) abgeschlossen. Um einen Hub versetzt erfolgt die Zweitakt-Zusatzexpansion der Expansionszylinder (225) und (227).

- (531)–(532) Stufenkolben (21) wird von den Hydraulikzylindern (231) und (232) nach links gedrückt. 35
- (532)–(533) Zusatzverdichten, wie beschrieben, um ausreichend Verdichtung bzw. Lufttemperatur zu erreichen.
- (533)–(534) Hydrauliköl in Hochdruckspeicher (4) drücken.
- (534)–(535) Freifliegen des Stufenkolbens durch hydraulischen Kurzschluß.
- (535)–(536) Zusatzverdichten, wenn nötig. 40

Die anschließende Bewegung nach links erfolgt ähnlich wie unter (533)–(536) beschrieben. Die weiteren Hübe des Stufenkolbens (21) laufen in gleicher Weise wie bisher beschrieben ab.

Aus Fig. 7 sind beispielhaft in gleicher Weise wie in Fig. 4 über dem Stufenkolbenweg die Gasdrücke in den einzelnen Zylindern (221)–(224) und Expansionszylindern (225)–(228) und die Geschwindigkeit des Stufenkolbens (21) ersichtlich, die entstehen, während die Brennkraftmaschine z. B. einen Hochdruckspeicher von 270 auf 320 bar auflädt. Die schraffierten Felder zeigen die Veränderungen durch den ansteigenden Hydraulikdruck. 45

Das in Fig. 8 dargestellte Brennstoffeinspritzventil (26) eignet sich für die vorgeschlagene Brennkraftmaschine besonders, da es in Richtung der Stufenkolbenachse kurz baut. Es besteht im einzelnen aus dem Einspritzventil (261), dem Brennstoffrückschlagventil (262) und der Kolbenpumpe (263). Der vom Brennstoffvorratsbehälter (261) kommende und unter leichtem Druck stehende Brennstoff fließt über das Brennstoffrückschlagventil (262) in den Kanal (264). In diesen Kanal ragt ein Teil der Kolbenpumpe (263). Der Kanal führt zum Einspritzventil (261). Die Einspritznadel (268) wird durch Feder (266) auf die Einspritzdüse (267) gedrückt, sodaß kein Brennstoff in den Zylinder z. B. (221) fließen kann. 50

Wird das nicht dargestellte Magnetventil von der elektronischen Steuerung (6) mit Strom beaufschlagt, fließt Drucköl aus dem Hochdruckspeicher (4) in die Kolbenpumpe (263) und auf den Hydraulikkolben (269), der die ca. 4-fache Fläche des in den Kanal (264) ragenden Brennstoffkolbens (265) hat. Dadurch entsteht ein sehr hoher Einspritzdruck, der die Einspritznadel gegen die Feder (266) aufdrückt, wodurch eine schnelle und partikelfreie Verbrennung erfolgt. 55

Durch die kleine Masse des Stufenkolbens (21) beschleunigt dieser sofort. Dadurch bleibt der max. Druck und der Drucksteigerungsgradient im Brennraum klein und damit auch das Verbrennungsgeräusch. Gleichzeitig wird auch die Verbrennungstemperatur klein gehalten und damit auch die NO<sub>x</sub>-Werte. Eine vollkommene Verbrennung erfolgt dadurch, daß der Stufenkolben (21) nach ca. einem Drittel seines Hubes stehen bleibt und dort bei noch ausreichend hohen Temperaturen restliche Brennstoffteilchen verbrennen können. In Fig. 9 ist der Temperaturverlauf z. B. im Zylinder (221) über dem Stufenkolbenweg für die ersten drei Hübe siehe Fig. 4 dargestellt. 60

Das Abschalten der Brennkraftmaschine (z. B. bei Erreichen des maximalen Druckes im Hochdruckspeicher) erfolgt, indem am Umschaltpunkt (534) oder (537) die Einlaßventile (24), Überströmventile (25) und Auslaßventile (27), bis auf den Zylinder und die Expansionszylinder in denen die Zusatzexpansion stattfindet, geöffnet 65

werden. Gleichzeitig wird das 2/2-Wege-Magnetventil (6) geschaltet. Dadurch wird der Stufenkolben (21) mit den noch in den Expansionszylindern (225) und (227) oder (226) und (228) befindlichen Verbrennungsgasen weich in eine für einen neuen Start optimale Endlage getrieben. Hat der Stufenkolben (21) seine Endlage erreicht, gehen alle Ventile in Ruhestellung.

5 Für zündunwillige Brennstoffe oder beim Start der Brennkraftmaschine bei tiefen Temperaturen kann es hilfreich sein, eine Glühkerze in jedem Zylinder (221)–(224) anzubringen.

Die Verbrennungsgase enthalten je nach Brennstoffart und gewähltem Luftverhältnis auch bei der Expansion bis nahe Umgebungstemperatur noch relativ viel Energie. Wird mit einer gleichen oder ähnlichen Einrichtung, wie in Fig. 8 beschrieben, Wasser in die Zylinder (221)–(224) oder in die vergrößerten Expansionszylinder 10 (225)–(228) eingespritzt, so läßt sich der Wirkungsgrad der Brennkraftmaschine weiter erhöhen und die Temperatur der Bauteile senken.

Werden 2 Stufenkolben parallel angeordnet aber gegenläufig betrieben, so sind auch die Schwingungen aus den bewegten Stufenkolbenmassen aus einer solchen Brennkraftmaschine vernachlässigbar klein.

15	1	Brennkraftmaschine
	2	Zylinderblock
	3	Hydrauliksteuerung
	4	Hochdruckspeicher
	5	Niederdruckspeicher
20	6	elektronische Steuerung
	7	Drucksensor
	8	Wegsensor
	20	Gehäuse
	21	Stufenkolben
25	24	Einlaßventil
	25	Überströmventil
	26	Brennstoffeinspritzventil
	27	Auslaßventil
	31	4/3-Wege-Magnetventil
30	32	3/2-Wege-Magnetventil
	33	3/2-Wege-Magnetventil
	34	Sperrventil
	35	Sperrventil
	36	2/2-Wege-Magnetventil
35	37	Magnetventil
	38	Sperrventil
	39	Sperrventil
	201, 202	Luftkanal
	211, 212	innerer Kolben
40	213, 214	Kolben
	215, 216	Hydraulikkolben
	221–224	Zylinder
	225–228	Expansionszylinder
	231–234	Hydraulikzylinder
45	261	Einspritzventil
	262	Brennstoffrückschlagventil
	263	Kolbenpumpe
	264	Kanal
	265	Brennstoffkolben
50	266	Feder
	267	Einspritzdüse
	268	Einspritznadel
	269	Hydraulikdruckkolben
	501	Drucklinie für Zylinder (222)
55	511–515	Punkte auf Drucklinie für Zylinder (221)
	515–516	Gemeinsame Expansion des Zylinders (221) mit den Expansionszylindern (226) und (228)
	521–526	Punkte auf Drucklinie für Expansionszylinder (225)–(228)
	531–536	Punkte auf der Geschwindigkeitslinie für den Stufenkolben (21)

60

65



- Leerseite -

3727335

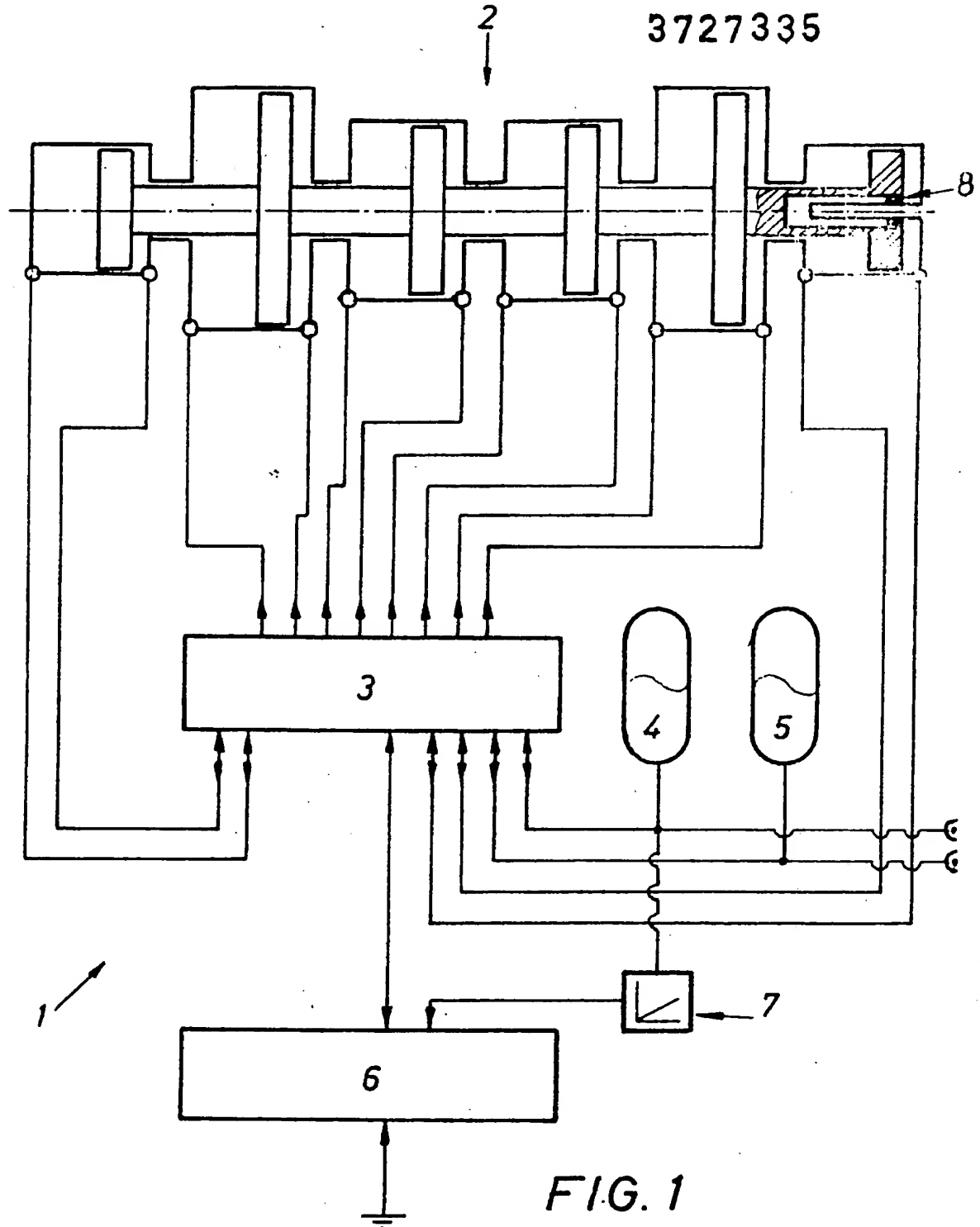


FIG. 1

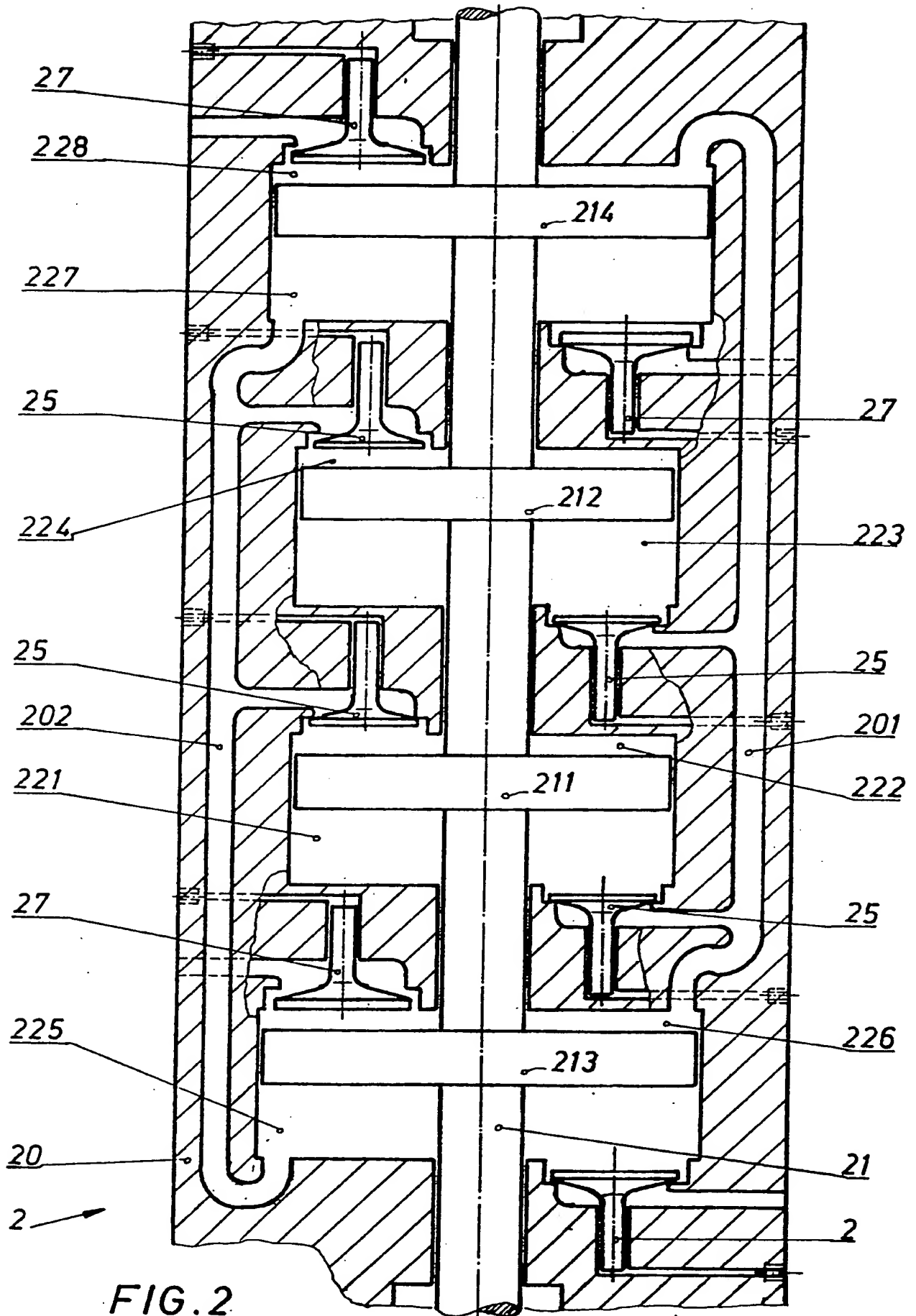


FIG. 2

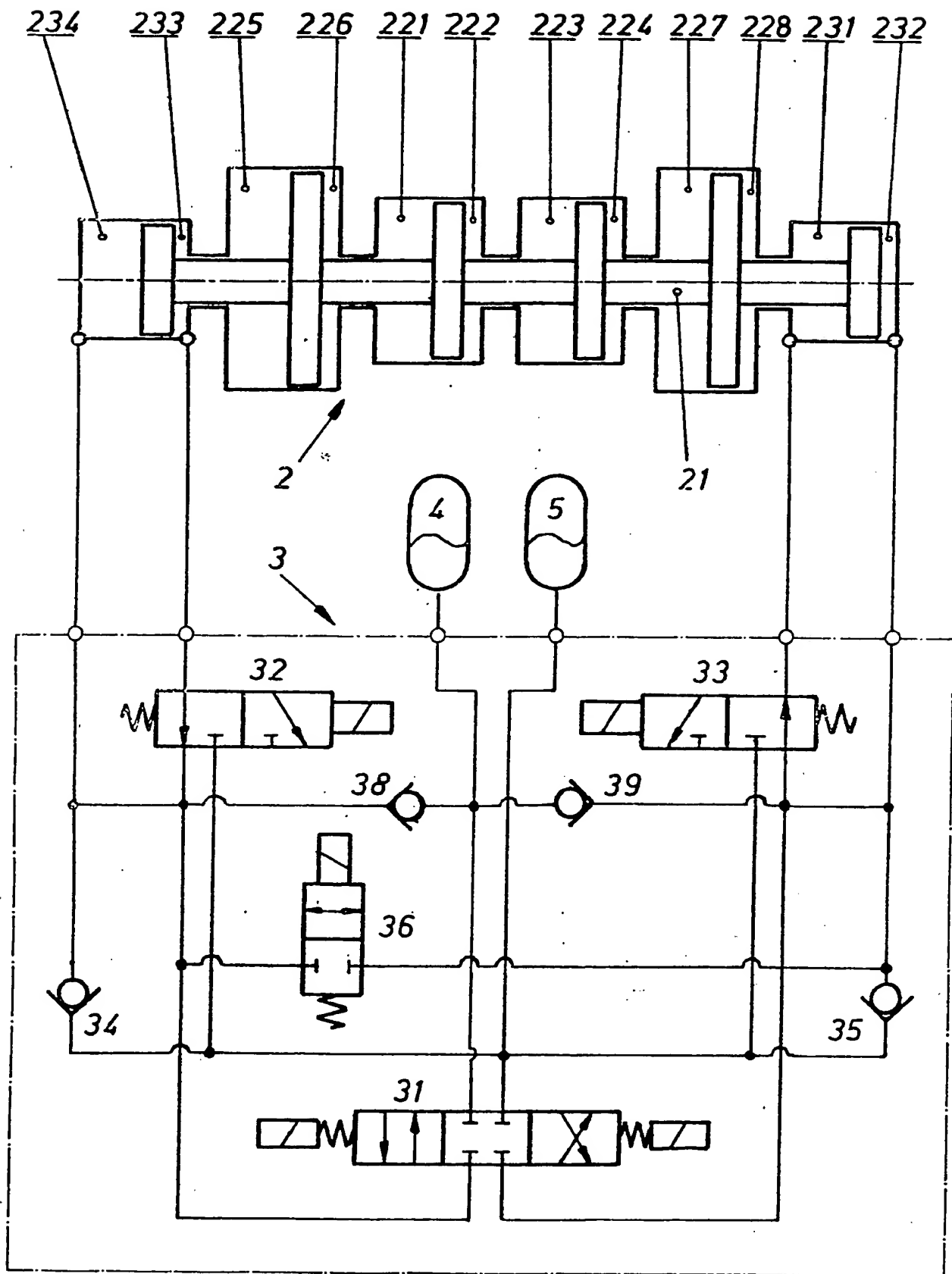
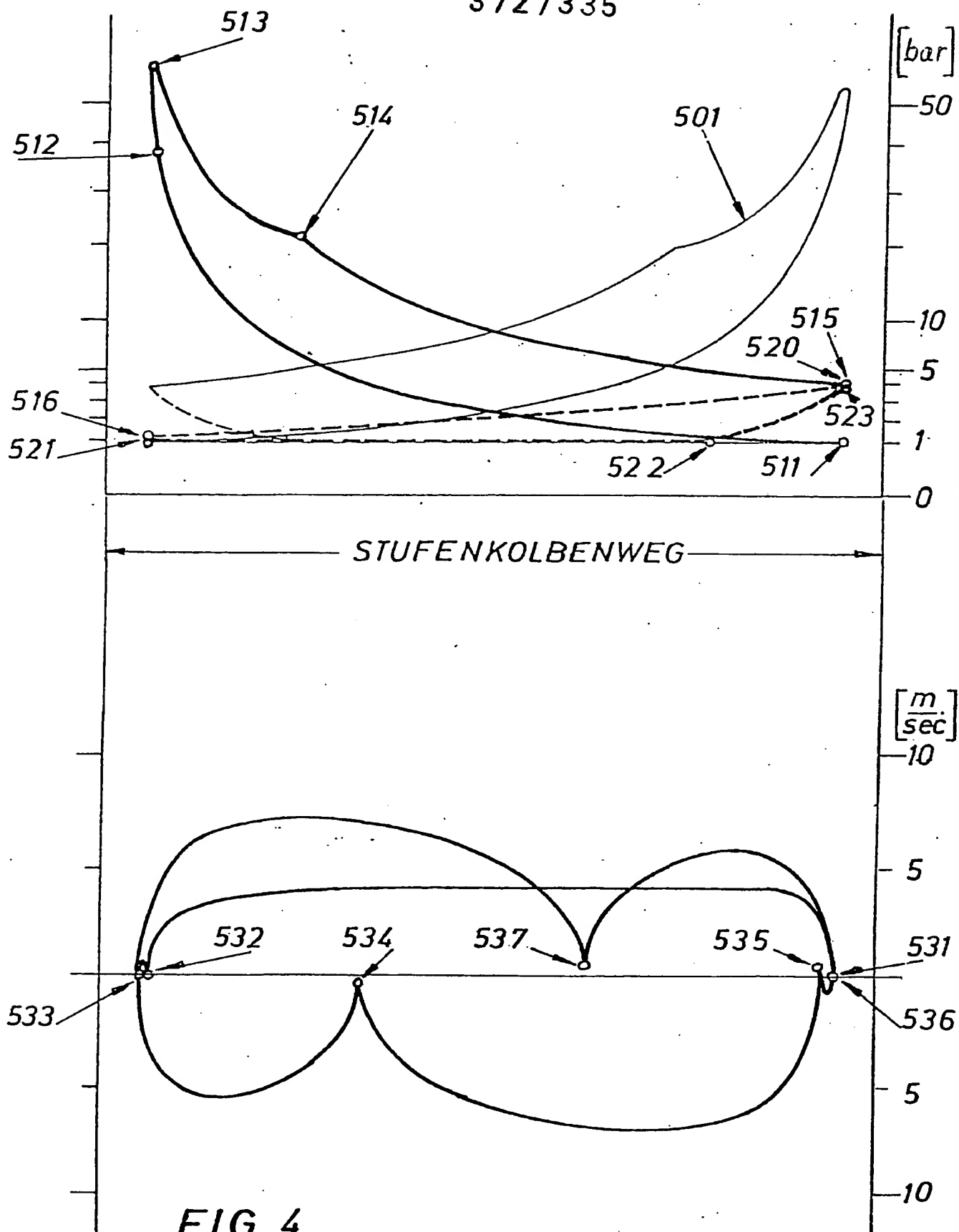


FIG. 3

ORIGINAL INSPECTED

3727335



3727335

FIG. 5

21

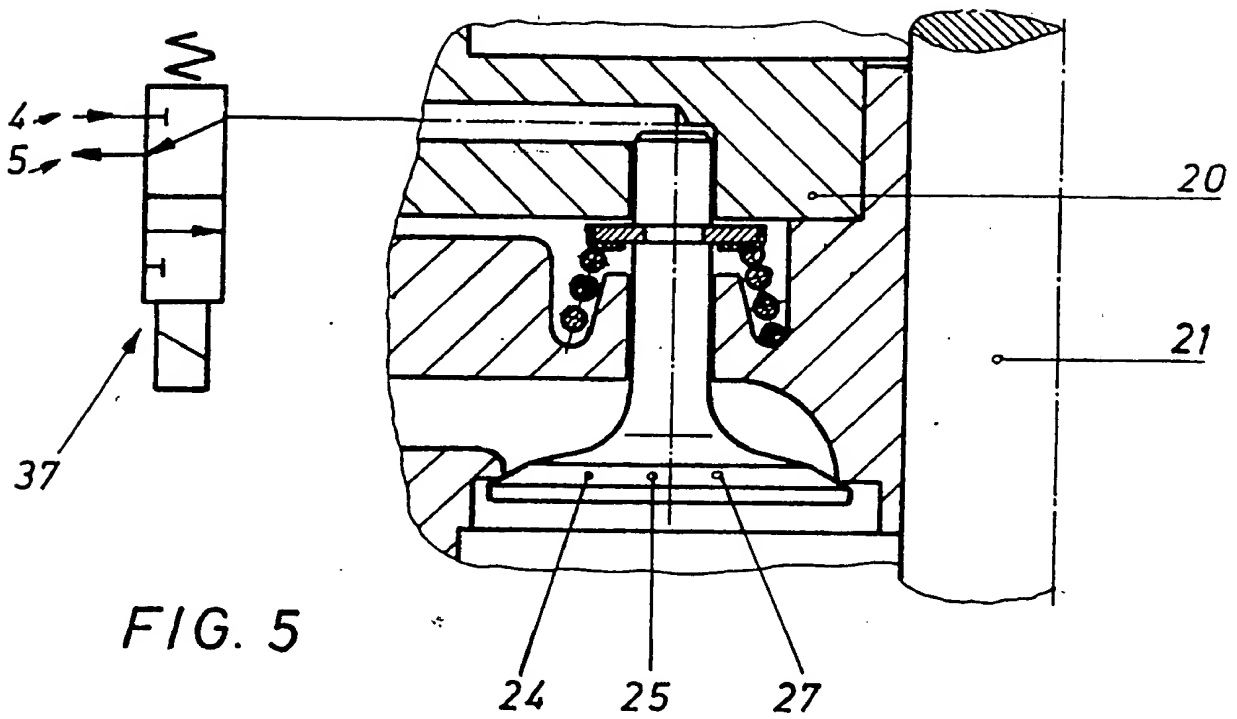


FIG. 5

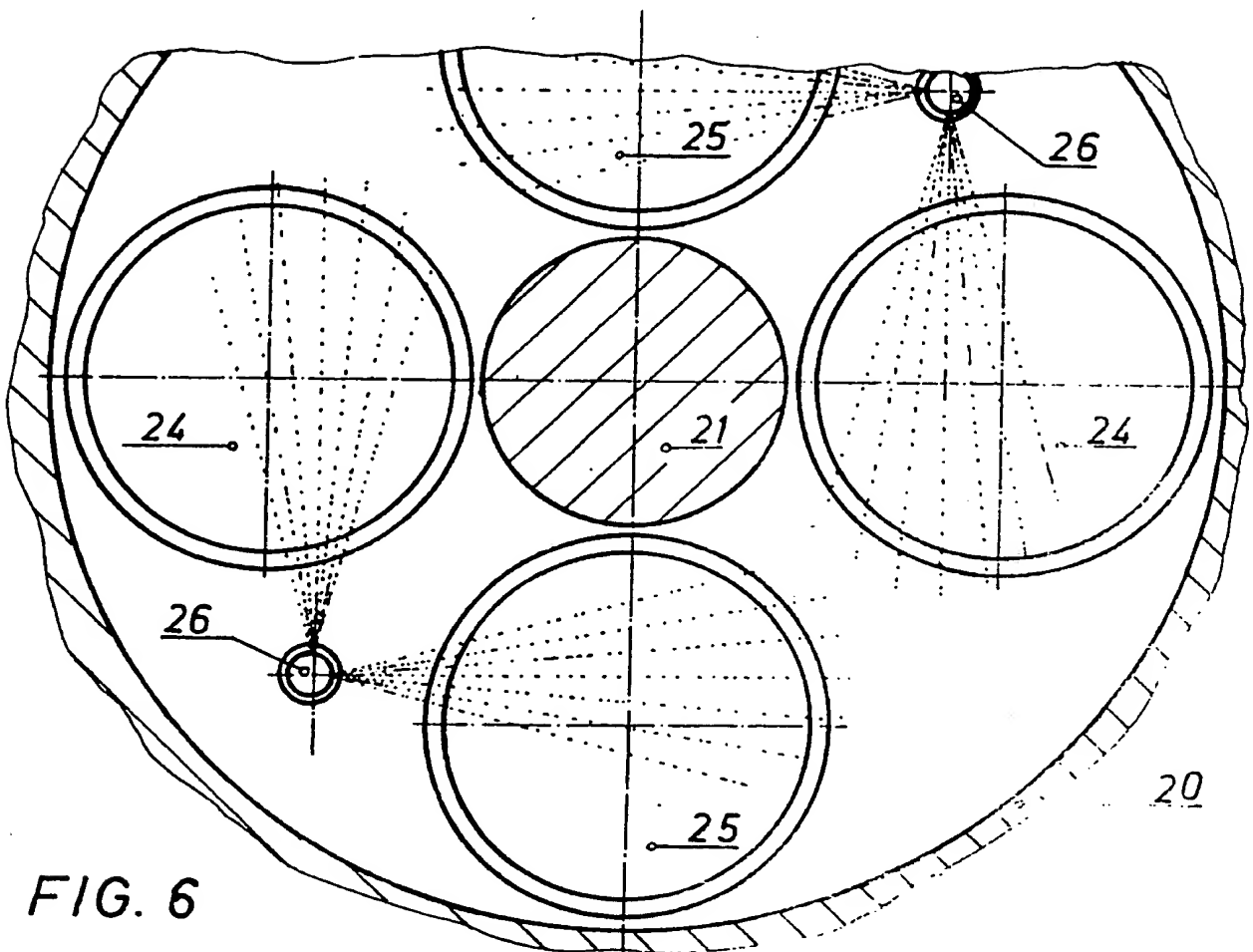


FIG. 6

ORIGINAL INSPECTED

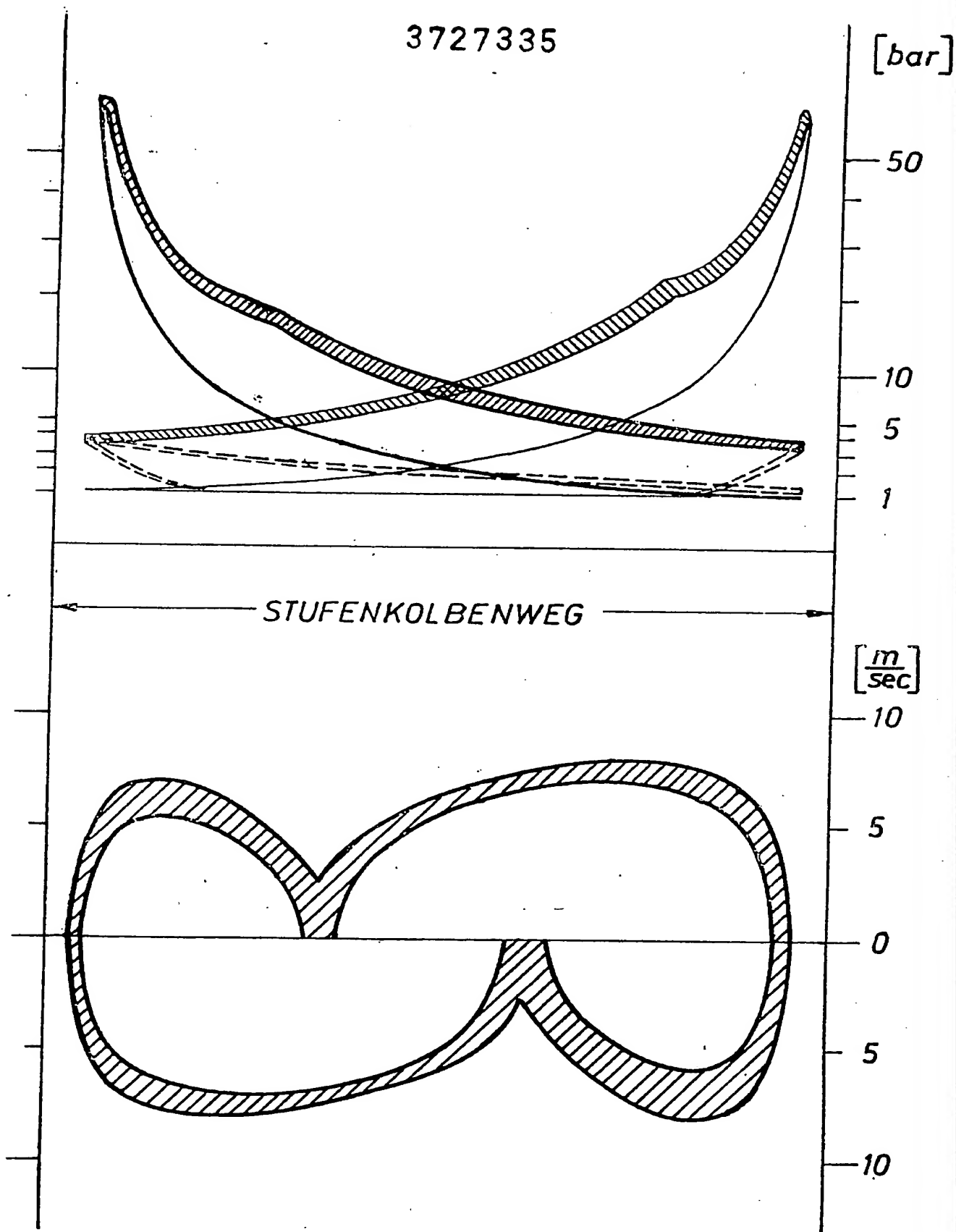


FIG. 7

3727335

23

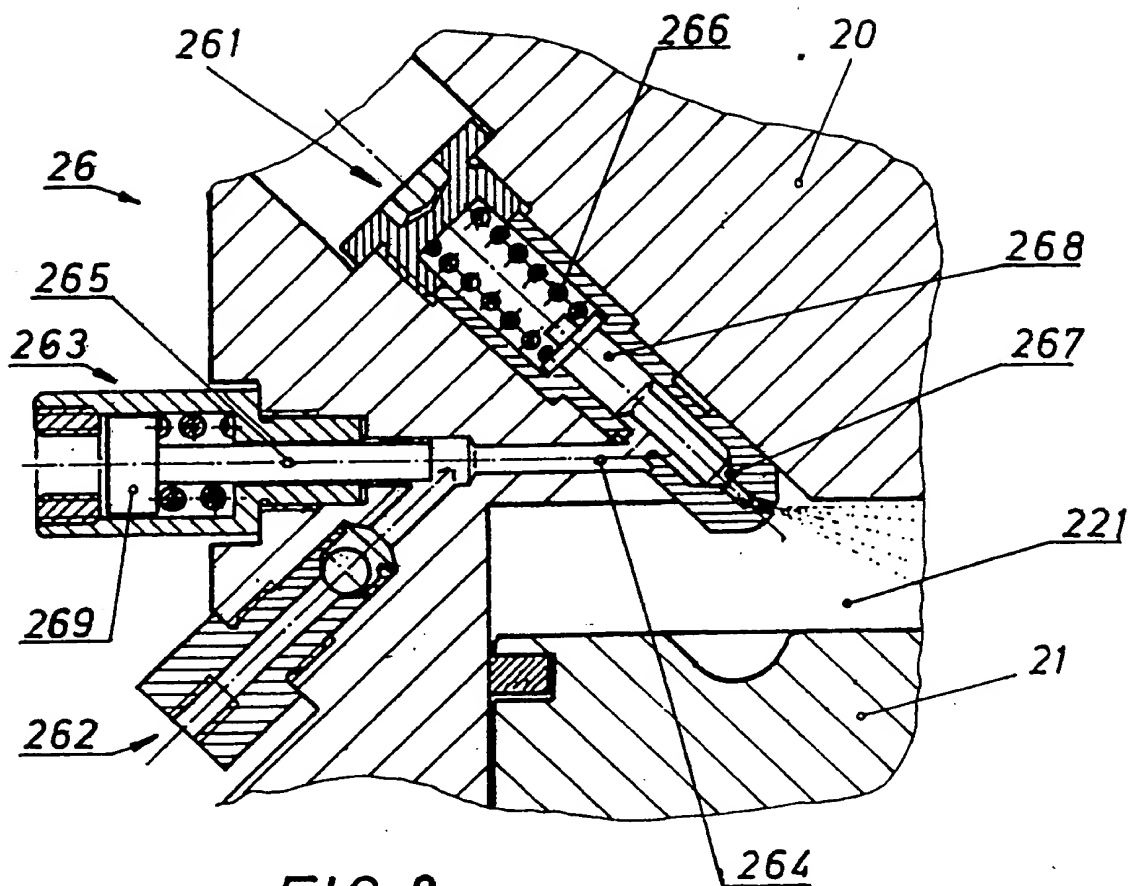


FIG. 8

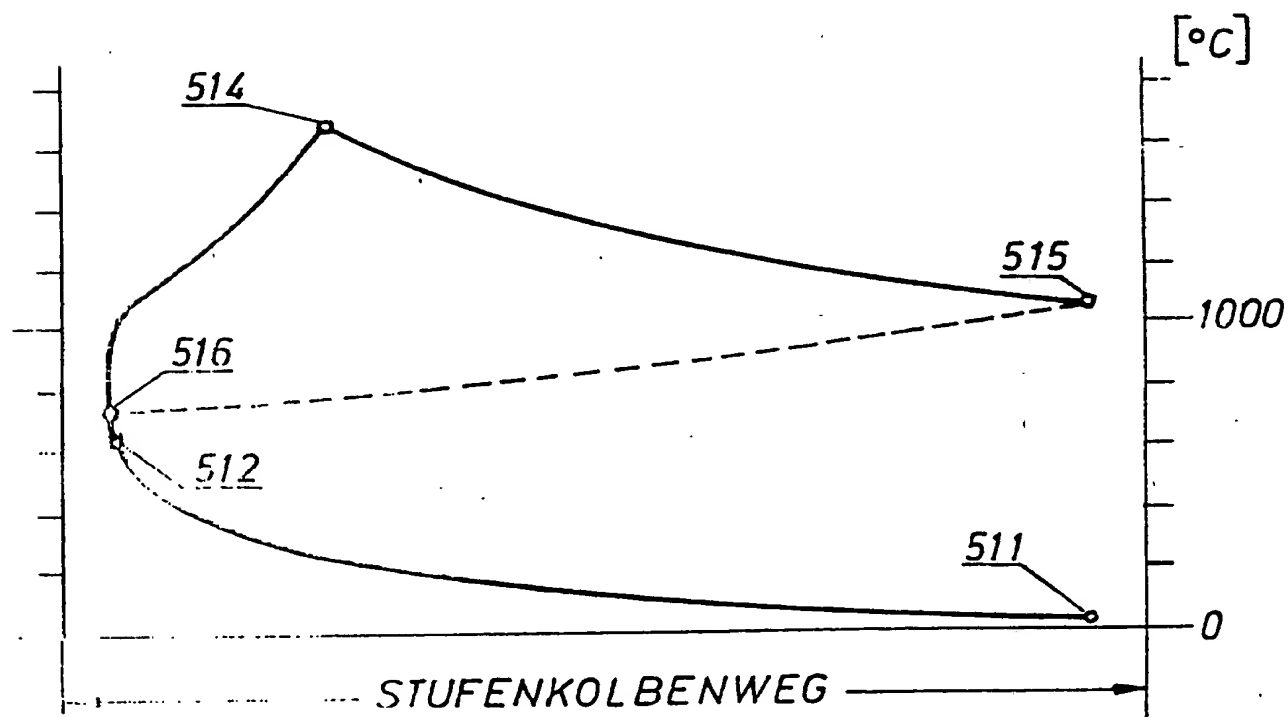


FIG. 9

ORIGINAL INSPECTED